

中华人民共和国黑色冶金行业标准

YB/T 4001.2—201X

钢格栅板及配套件
第2部分：钢格板平台球型护栏

Steel bar grating and matching parts

Part 2: Grating platform ball-type guardrails

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部
布

发

前 言

YB/T 4001《钢格栅板及配套件》分为三个部分：

- 第1部分：钢格栅板；
- 第2部分：钢格板平台球型护栏；
- 第3部分：钢格板楼梯踏板。

本部分为 YB/T 4001 的第 2 部分。

本部分对钢格板平台的球型护栏的结构型式、技术要求、制作、荷载试验和强度的计算方法作出规定。

附录 A：球型护栏的荷载试验，是规范性附录。

附录 B：球型护栏的强度计算，是资料性附录。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员归口。

本部分起草单位：佛山市南海大和钢结构有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本部分主要起草人：

本部分为首次发布。

钢格栅板及配套件 第 2 部分：钢格板平台球型护栏

1 范围

本部分规定了钢格板平台球形护栏的制作、安装与检验要求。

本部分适用于工业企业中的操作平台、楼梯、人行通道、检修栈桥、升降口等有跌落危险的场所。不适用于民宅、街道与道路上的步行道、学校、商场、体育场馆或大型公共场所的护栏及其他移动设备。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 1591 低合金高强度结构钢

GB/T 4172 焊接结构用耐候钢

GB/T 13793 直缝电焊钢管

GB/T 12770 机械结构用不锈钢焊接钢管

GB 4053.3-2009 固定式工业防护栏杆及平台安全要求

GB 17888.3-2008 机械安全 进入机械的固定设施 第3部分：楼梯、阶梯和护栏

GB/T13912-2002 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法

3 术语及定义

下列术语及定义适用于本部分。

3.1 球形护栏 ball-type guardrail (BG)

以球型立柱作为支柱的护栏。

3.2 空心球 hollow sphere (hs)

球形护栏立柱和扶手管、横杆或弯头连接固定部位的球节点。

3.3 球形立柱管 ball-type stanchion pipe (bsp)

和空心球组成球形立柱的钢管。

3.4 球型立柱 ball-type stanchion (bs)

球形护栏的垂直构件，护栏和平台连接的支柱，一种管—球结构支柱。

3.5 脚掌(基座板) base plate (b)

球形护栏立柱和平台连接用的基座板。

3.6 立柱间距 stanchion spacing (L)

球型立柱的中心间距，也就是扶手和横杆的跨距。

3.7 扶手 handrail (hr)

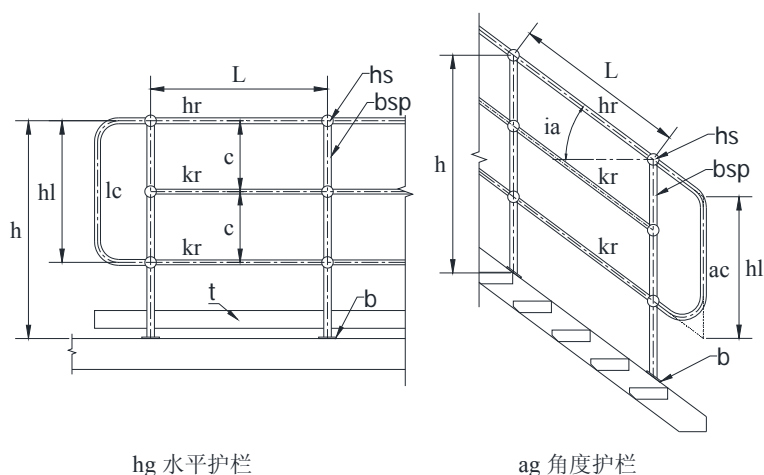
预定让人用手抓住支撑身体的立柱上端设置的防护构件。

- 3.8 横杆 kneerail (kr)
与扶手平行安装的立柱中部的连接杆件，能够对身体的通过提供额外的防护。
- 3.9 弯头 elbow (e)
用于水平护栏转弯处、角度护栏与水平护栏拐弯处的连接构件。
- 3.10 水平护栏 horizontal guardrail (hg)
扶手与平台水平面平行的护栏。
- 3.11 水平球型立柱 horizontal ball-type stanchion (hbs)
水平护栏的球型立柱。
- 3.12 角度护栏 angle guardrail (ag)
扶手与平台水平面成倾角的用于楼梯两侧的护栏。
- 3.13 扶手角度 inclined angle (ia)
角度护栏扶手与平台水平面的倾角，也就是楼梯的倾角。
- 3.14 角度球型立柱 angle ball-type stanchion (abs)
角度护栏的球型立柱。
- 3.15 凹槽球型立柱 groove ball-type stanchion (gbs)
角度球型立柱的一种结构形式，立柱管靠近球节点的位置带有凹槽。
- 3.16 水平收口 level closing (lc)
用于水平护栏的端头，连接扶手管和下横杆的连接构件。
- 3.17 角度收口 angle closing (ac)
用于角度护栏的端头，连接扶手管和下横杆的连接构件。
- 3.18 接管 connecting pipe (cp)
扶手管、横杆管的连接构件。
- 3.19 固定铆钉 fixed rivet (fr)
固定立柱与连接构件或固定接管用的铆钉。
- 3.20 踢脚板 toe plate (t)
为避免物体由走道平面下落而设置的安装于立柱下部的防护板。

4 球型护栏的构造

- 4.1 球型护栏是一种管—球结构组合式固定护栏，以不同直径的空心钢球和钢管，脚掌板通过焊接而成为立柱，以空心球作为节点，连接不同直径的扶手管，横杆管，加上踢脚板组合而成为一种固定式安全防护设施，如图1所示。
- 4.2 球型护栏以在平台上的安装位置不同分为水平球型护栏和角度球型护栏。
- 4.3 水平球型护栏在平台的转角处可以接入弯头连接另一方向的护栏，或者使用水平收口与另一方向的护栏分开。
- 4.4 角度护栏在起跑和结束处使用角度收口。
- 4.5 角度护栏与水平护栏交汇处或两跑角度护栏的连接，可作收口处理或使用弯头连接，因为现场空间位置的不同，弯头连接必须根据实际由安装人员现场制作。
- 4.6 凹槽球型立柱是角度球型立柱的一种结构形式。当角度护栏的倾角较大时，立柱管会阻碍扶手管或横杆管的穿过，一种做法是把这部分管子铣去，形成一个缺口让扶手管或横杆管可以穿过。但是这样处理会改变立柱的截面参数，也造成应力集中，降低立柱的抗弯强度。凹槽球型立柱是为了不减小该部位的立柱管截面，保证立柱的抗弯强度，不采用铣去这部分材料的方法，而在立柱管的相应部位用凹槽形式避让扶手和横杆的通过。

- 4.7 扶手管，横杆管在立柱球节点处通过焊接或用铆钉固定。
- 4.8 两根扶手管，横杆管之间通过内接管连接并焊接或用铆钉固定。
- 4.9 踢脚板可以直接焊接或用安装夹固定在立柱下方。
- 4.10 球型立柱的脚掌通过直接焊接或用螺栓固定在平台的支承钢架上。



hg 水平护栏

ag 角度护栏

图1 球型护栏的结构型式

hs	球节点	kr	横杆管
bsp	立柱管	lc	水平收口
b	脚掌	ac	角度收口
t	踢脚板	hl	收口高度
h	护栏高度	L	立柱间距
hr	扶手管	c	横杆间距

5 球型护栏的技术要求

5.1 球型护栏荷载要求

5.1.1 球形护栏扶手的荷载要求

球形护栏的扶手在任何部位应能承受任何方向的1000N集中荷载，并满足下列要求：

- 1) 其任何构件均不出现断裂；
- 2) 不发生构件与紧固件的松动或脱落；
- 3) 负载下，扶手的最大容许挠度 $L/250$ ；
- 4) 卸载后，扶手的残余变形不大于 $L/1000$ 。

5.1.2 球形护栏横杆的荷载要求

球形护栏的横杆在任何部位应能承受任何方向的700N集中荷载，负载下的最大容许挠度 $L/100$ 。

5.1.3 球形护栏立柱的荷载要求

5.1.3.1 球型护栏300型立柱的荷载要求

球型护栏300型立柱顶部应能承受水平方向或垂直向下方向的300N的集中荷载，负载下的最大容许挠度 $h/50$ ，适用于只供检修人员通过的场合。

5.1.3.2 球型护栏500型立柱的荷载要求

球型护栏500型立柱顶部应能承受水平方向或垂直向下方向的500N的集中荷载，负载下的最大容许挠度 $h/50$ ，适用于单人通行的场合。

5.1.3.3 球型护栏890型立柱的荷载要求

球型护栏890型立柱顶部应能承受水平方向或垂直向下方向的890N的集中荷载，负载下的最大容许挠度 $h/50$ ，适用于多人通行的场合。

5.1.3.4 球型护栏1000型立柱的荷载要求

球型护栏1000型立柱顶部应能承受水平方向或垂直向下方向的1000N的集中荷载，负载下的最大容许挠度 $h/100$ ，适用于紧急撤离路线通道和密集人员通行的场合。

5.2 球型护栏的高度要求

5.2.1 当平台、通道及作业场所距基准面高度小于2m时，球型护栏高度应不低于900mm。

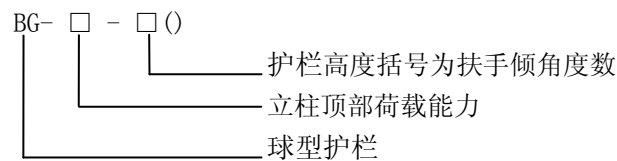
5.2.2 在距基准面高度大于等于2m并小于20m的平台、通道及作业场所的球型护栏高度应不低于1050mm。

5.2.3 在距基准面高度不小于20m的平台、通道及作业场所的球型护栏高度应不低于1200mm。

5.3 球型护栏型号的表示方法

5.3.1 球型护栏的代号为BG，代表ball-type guardrail。

5.3.2 球型护栏型号的表示方法：



球型护栏的型号举例：

BG-500-1230 表示水平球形型护栏，球型立柱顶部承受集中荷载能力为500牛顿，立柱高度为1230mm。

BG-890-1050(38) 表示角度球形型护栏，球型立柱顶部承受集中荷载能力为890牛顿，立柱高度为1050mm，扶手倾角为 38° 。

5.3.3 球型护栏的型号规格

球型护栏的型号规格如表1所示：

表1 球型护栏的通常型号规格

单位为毫米（mm）

护栏型号	空心球外径	立柱管外径	扶手管外径	横杆管外径
BG-300	Φ65	Φ33.5	Φ33.5	Φ26.8~Φ33.5
BG-500	Φ65	Φ42	Φ33.5	Φ26.8~Φ33.5
BG-890	Φ80	Φ48	Φ42	Φ26.8~Φ33.5
BG-1000	Φ95	Φ60	Φ48	Φ26.8~Φ33.5

5.4 球型护栏构件的尺寸要求

5.4.1 球型护栏高度为900mm的构件尺寸要求如表2所示：

表2 球型护栏高度为900mm的构件尺寸要求

单位为毫米（mm）

型号	空心球		立柱管		扶手管		横杆管	
	外径	壁厚	外径	壁厚	外径	壁厚	外径	壁厚
BG-300-900	Φ65	≥3.0	Φ33.5	≥2.0	Φ33.5	1.5	Φ26.8	1.0
BG-500-900	Φ65	≥3.0	Φ42	≥2.0	Φ33.5	1.5	Φ26.8	1.0
BG-890-900	Φ80	≥4.0	Φ48	≥2.5	Φ42	1.0	Φ33.5	1.0
BG-1000-900	Φ95	≥4.0	Φ60	≥2.5	Φ48	1.0	Φ33.5	1.0

5.4.2 球型护栏高度为1050mm的构件尺寸要求如表3所示：

表3 球型护栏高度为1050mm的构件尺寸要求

单位为毫米（mm）

型号	空心球		立柱管		扶手管		横杆管	
	外径	壁厚	外径	壁厚	外径	壁厚	外径	壁厚
BG-300-1050	Φ65	≥3.0	Φ33.5	≥2.5	Φ33.5	1.5	Φ26.8	1.0
BG-500-1050	Φ65	≥3.0	Φ42	≥2.5	Φ33.5	1.5	Φ26.8	1.0
BG-890-1050	Φ80	≥4.0	Φ48	≥3.0	Φ42	1.0	Φ33.5	1.0
BG-1000-1050	Φ95	≥4.0	Φ60	≥3.0	Φ48	1.0	Φ33.5	1.0

5.4.3 球型护栏高度为1200mm的构件尺寸要求如表4所示：

表4 球型护栏高度为1200mm的构件尺寸要求

单位为毫米（mm）

型号	空心球		立柱管		扶手管		横杆管	
	外径	壁厚	外径	壁厚	外径	壁厚	外径	壁厚
BG-300-1200	Φ65	≥3.0	Φ33.5	≥2.75	Φ33.5	1.5	Φ26.8	1.0
BG-500-1200	Φ65	≥3.0	Φ42	≥2.75	Φ33.5	1.5	Φ26.8	1.0
BG-890-1200	Φ80	≥4.0	Φ48	≥3.5	Φ42	1.0	Φ33.5	1.0
BG-1000-1200	Φ95	≥4.0	Φ60	≥3.5	Φ48	1.0	Φ33.5	1.0

6 球型护栏制作要求

6.1 球型护栏各构件的选用材料应符合荷载及安全的要求。

6.1.1 采用碳素结构钢、耐候结构钢、低合金高强度结构钢材料，且符合GB/T 700、GB/T 4171、GB/T 1591、GB/T 13793的要求。

6.1.2 采用铁素体不锈钢、奥氏体不锈钢、双相不锈钢材料，且符合 GB/T 4237、GB/T 3280、GB/T 12770的要求。

6.2 空心球应是整体成形的钢构件，不允许由两片或多片球面焊接而成，空心球的外圆直径偏差不大于0.25mm，空心球开孔后剩余的有效截面积不小于立柱管的截面积。

6.3 除空心球外，立柱管上不允许有任何的开孔、开口，保证整根立柱管的截面积不减小。

6.4 立柱管与接点空心球，脚掌（基座板）应牢固的焊接成为整体，全周角焊缝宽度不小于3mm，球型护栏立柱组装焊接后必须逐根检查，不允许存在横向和纵向裂纹。

6.5 脚掌（基座板）的厚度不小于8mm，厚度偏差不大于0.3mm。

6.6 扶手与横杆之间，横杆之间，横杆与挡板之间的净间距不大于500mm。

6.7 挡板（踢脚板）的扁钢尺寸不小于100x3mm。如果平台设置有满足挡板功能及强度要求的其他结构边缘时，可不另设挡板。

7 球型护栏的防腐蚀措施

7.1 工业腐蚀环境下使用的球型护栏，宜采用耐候钢或不锈钢制造，并选用较厚的壁厚，以增加腐蚀裕量。

7.2 工业腐蚀环境下使用的球型护栏的表面防护，宜采用耐候性优良的防护处理。

7.2.1 除不锈钢球型护栏外，球型护栏采用热浸镀锌或等效的表面处理。

7.2.2 工业腐蚀环境下的球型护栏安装螺栓可选用不锈钢螺栓。

8 球型护栏安装要求

- 8.1 只要存在坠落风险就必须安装护栏。
- 8.2 当可能坠落高度超过500mm时，必须安装护栏。
- 8.3 如果操作平台和设备构架或墙壁之间的间距小于200mm并且构架的防护等效于护栏时，不需要装护栏。但是，当操作平台和相邻的构架之间的间距大于30mm时，要有踢脚板。
- 8.4 球型立柱间距由护栏荷载设计要求而定，最大间距不应超过1000mm。
- 8.5 在中断扶手的情况下，两段护栏间最大净间距不应超过120mm。
- 8.6 所有进出口，应安装自关门。自关门应具有和护栏同样高度的扶手和横杆，并且满足下列要求：
- 1) 自关门只能朝一个方向打开；
 - 2) 自关门的打开方向不应朝向坠落方向；
 - 3) 自关门应能很容易打开；
 - 4) 自关门应能自动关闭。
- 8.7 即使没有坠落风险，例如两边有墙壁的楼梯，也至少要安装一侧扶手护栏。宽度大于或等于1200mm的楼梯应安装两侧扶手护栏。
- 8.8 当楼梯的上升高度超过500mm并且斜梁外侧有大于200mm的横向间距时，在其侧边应安装护栏。
- 8.9 在护栏扶手的周围100mm的距离内不应有妨碍人手把握的障碍。
- 8.10 球型立柱脚掌与平台梁的固定宜采用焊接连接，角焊缝不小于6mm，并预留漏水孔。当不便焊接时，可采用螺栓连接。
- 8.11 球型立柱与扶手管、横杆、弯头和接管的固定宜采用焊接，也可采用铆钉固定。
- 8.12 踢脚板与球型立柱的连接采用焊接或夹紧件固定，现场装配后挡板与平台间隙不大于10mm。
- 8.13 球型护栏端部必须设置立柱收口或与建筑物牢固连接。
- 8.14 球型护栏安装时应保证平直，没有肉眼可见的明显波浪弯曲。
- 8.15 球型护栏由安装单位在现场组装焊接后，焊接部位必须清理焊渣，裁切口，碰损擦伤等防腐涂层遭到损伤的部位，现场施工负责进行防腐涂装。

9 球型护栏检验

- 9.1 采用碳素结构钢、耐候结构钢、低合金高强度结构钢材料生产的球型立柱管、扶手管、横杆使用直缝电焊钢管。
- 9.1.1 球型立柱管、扶手管、横杆应根据技术要求检查外径、壁厚，公差参照GB/T13793《直缝电焊钢管》A级精度的要求，表5给出了常用规格的允许偏差。

表5 球型护栏用直缝电焊钢管外径、壁厚的允许偏差 单位为毫米(mm)

外径(D)	A级精度的允许偏差	壁厚(t)	A级精度的允许偏差
>20~50	±0.50	>1.5~2.8	±10%t
>50~80	±1.0%D	>2.8~3.8	±10%t

- 9.1.2 热浸锌表面处理的扶手管和横杆的锌层厚度应符合GB/T13793《直缝电焊钢管》的锌层厚度要求。
- 9.1.3 热浸锌表面处理的球型立柱、踢脚板，锌层厚度应符合GB/T 13912《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》的规定要求。
- 9.2 采用铁素体不锈钢、奥氏体不锈钢、双相不锈钢材料生产的球型立柱管、扶手管、横杆管等构件钢管材料应符合GB/T 12770《机械结构用不锈钢焊接钢管》的要求，表6给出了常用规格的允许偏差。

表6 球型护栏用不锈钢焊接钢管 外径、壁厚的允许偏差

单位为毫米(mm)

外径(D)	普通级精度的允许偏差	壁厚(t)	允许偏差
$\geq 25 \sim < 40$	± 0.30	$\geq 0.5 \sim 1.0$	± 0.15
$\geq 40 \sim < 63$	± 0.50	$> 1.0 \sim 2.0$	± 0.20
$\geq 63 \sim < 90$	± 0.60	$> 2.0 \sim < 4.0$	± 0.30
$\geq 90 \sim < 159$	± 0.80	≥ 4.0	$\pm 10\%t$

9.3 外观：产品外表应光滑，焊缝完整光滑，无焊渣，孔边无毛刺，热浸锌处理的镀锌构件表面平滑，无粗糙锌瘤。

9.4 球型护栏荷载试验

按照本部分附录A的荷载试验方法，由生产厂家按批次抽样试验，从该批护栏中任意取用球型立柱和扶手管、横杆、踢脚板组成与实际现场安装的立柱最大间距的护栏，进行荷载试验。球型护栏现场安装完毕后，可选球型护栏扶手的任意点进行试验，其结果可作为质量交付文件。

护栏在设计荷载作用下应满足下列要求：

- 1) 其任何构件均不应出现断裂；
- 2) 不应发生构件与紧固件的松动或脱落；
- 3) 负载下的最大容许挠度符合要求；
- 4) 卸载后的残余变形应不大于L/1000。

10 包装标志

10.1 在生产厂经检验合格的球型护栏构件可按合同要求包装，交付现场安装。

10.2 每个包装箱的球型护栏构件产品应贴上生产厂合格标志，球型立柱、扶手管、横杆、弯头还应按图号贴上图号标志。

附录 A
(规范性附录)
球型护栏荷载试验

A1 荷载试验装置

A1.1 荷载试验装置如图 A1 所示。

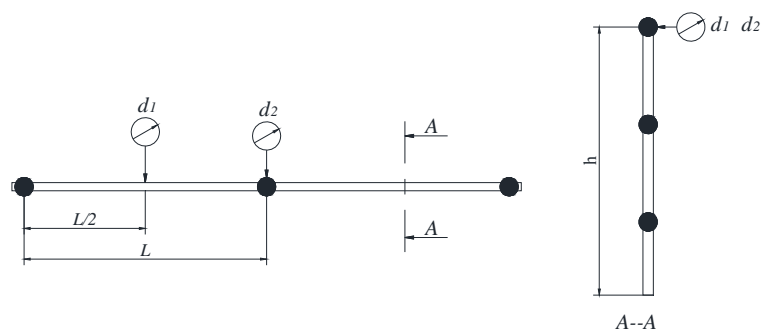


图 A1 球型护栏荷载试验

A1.2 荷载 F 逐步地、无冲击地、水平地施加于扶手、横杆的跨距中部或者球型立柱的顶球上。

A1.3 通过如图 A1 所示水平定位的百分表测量沿中心线产生的偏移量 (d_1, d_2)。

A2 球型护栏扶手的荷载试验

A2.1 球型护栏扶手的荷载试验的预加载

如图 A2 所示将 $50\% F$ 的水平集中荷载施加于球型护栏扶手的跨距中部上，3 分钟后除去荷载，将百分表重新调到零位。

A2.2 扶手管在水平集中荷载 F 作用下挠度 d 的测量

如图 A2 所示将荷载 F 施加于扶手的跨距中部上，保持 5 分钟后开始测量。

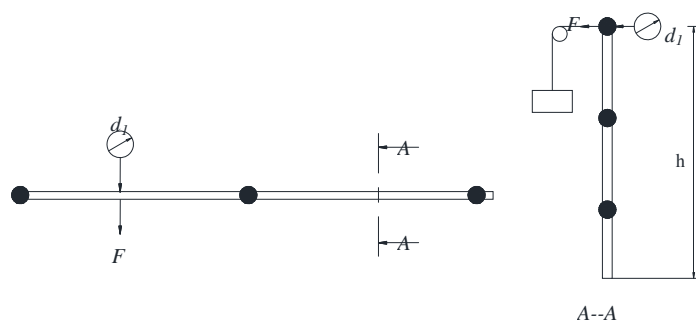


图 A2 球型护栏扶手的荷载试验

加载期间测量扶手的最大挠度 d_{\max} ，如图 A3 所示。

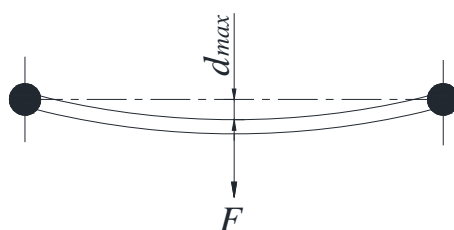


图 A3 球型护栏扶手最大挠度的测量

卸载后，对残余变形进行测量并记录。

A3 球型护栏横杆的荷载试验

横杆的的荷载试验方法参照扶手的荷载试验方法。

A4 球型立柱的荷载试验

A4.1 球型立柱荷载试验的预加载

如图 A4 所示将 50% F 的水平集中荷载施加于球型立柱的顶球上，3 分钟后除去荷载，将百分表重新调到零位。

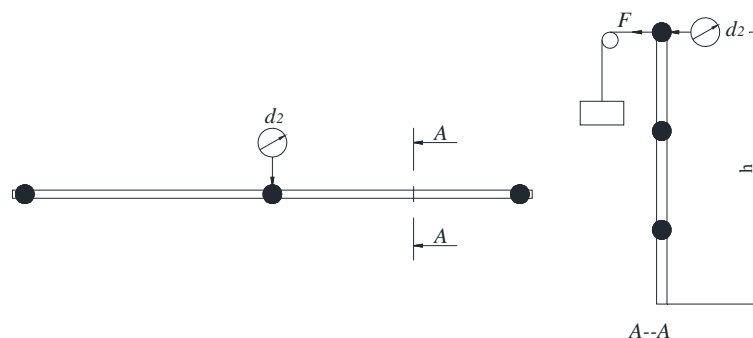


图 A4 球型立柱的荷载试验

A4.2 如图 A4 所示将荷载 F 垂直施加于球型立柱的顶球上，保持 5 分钟。

加载期间测量球型立柱的最大挠度 d_{max} ，如图 A5 所示。

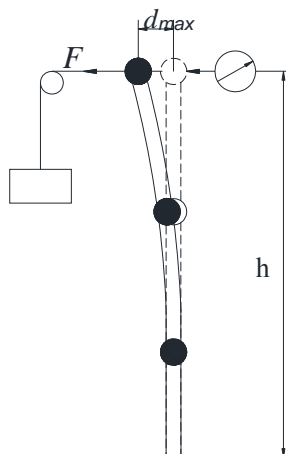


图 A5 球型立柱最大挠度的测量

A4.3 卸载后，对残余变形进行测量并记录。

A4.4 荷载试验的结果，应符合本规范正文的要求。

A5 试验报告

试验报告应包括以下信息：

- (1) 护栏规格类型
- (2) 试样尺寸及构件尺寸测量记录
- (3) 护栏扶手的试验荷载、施加位置、持续时间及最大变形挠度
- (4) 护栏横杆的试验荷载、施加位置、持续时间及最大变形挠度
- (5) 护栏立柱的试验荷载、施加位置、持续时间及最大变形挠度
- (6) 任何失败（破裂）的细节，永久变形记录或照片
- (7) 试验所使用施加荷载的传导装置详细描述，图纸或照片
- (8) 计量器具的校验记录
- (9) 试验日期及环境温度
- (10) 试验负责人的姓名，职位和资格
- (11) 试验负责人的签名

附录 B
(资料性附录)
球型护栏强度计算

B1 球型护栏扶手抗弯强度计算

B1.1 扶手承受弯距

$$M=QL^2/8 \dots\dots\dots (B1)$$

$$Q=F/L \dots\dots\dots (B2)$$

式中:

- M—护栏扶手弯距, 单位为牛顿毫米(Nmm);
Q—外加均布荷载, 单位为牛顿每毫米(N/mm);
L—护栏扶手计算跨距, 单位为毫米(mm);
F—外加集中荷载, 单位为牛顿(N)。

B1.2 扶手管截面惯性矩

$$I= \pi [D^4-(D-2t)^4]/64 \dots\dots\dots (B3)$$

式中:

- I—扶手管截面惯性矩, 单位为四次方毫米(mm⁴);
D—扶手管外径, 单位为毫米(mm);
t—扶手管壁厚, 单位为毫米(mm)。

B1.3 扶手管截面模量

$$W= \pi [D^4-(D-2t)^4]/32D \dots\dots\dots (B4)$$

式中:

- W—扶手管截面模量, 单位为三次方毫米(mm³);
D—扶手管外径, 单位为毫米(mm);
t—扶手管壁厚, 单位为毫米(mm)。

B1.4 扶手抗弯强度

$$\sigma =M/W \dots\dots\dots (B5)$$

式中:

- σ —扶手抗弯强度, 单位为牛顿每平方米(N/mm²);
W—扶手管截面模量, 单位为三次方毫米(mm³);
M—扶手管弯距, 单位为牛顿毫米(Nmm)。

B1.5 扶手抗弯强度验算

扶手抗弯强度满足设计要求判据

$$\sigma /f \leq 1 \dots\dots\dots (B6)$$

式中:

- σ —扶手抗弯强度, 单位为牛顿每平方米(N/mm²);
f—钢材抗弯强度设计值, 单位为牛顿每平方米(N/mm²)。

B1.6 扶手最大弯曲挠度 d_{max}

$$d_{max}=5QL^4/384EI \dots\dots\dots (B7)$$

式中:

- d_{max} —扶手最大弯曲挠度, 单位为毫米(mm);

- Q—外加均布荷载，单位为牛顿每毫米(N/mm)；
 L—护栏扶手计算跨距，单位为毫米(mm)；
 E—材料弹性模量，单位为牛顿每平方米(N/mm²)；
 I—截面惯性矩，单位为四次方毫米(mm⁴)。

B2 球型立柱强度计算

B2.1 球型立柱承受的弯矩

$$M=Flh \dots\dots\dots (B8)$$

式中：

- M—球型立柱弯矩，单位为牛顿毫米(Nmm)；
 F—外加集中荷载，单位为牛顿(N)；
 h—球型立柱高度，单位为毫米(mm)。

B2.2 球型立柱简化计算模型截面惯性矩 I

球型立柱空心球节点结构的存在，增加了立柱的抗弯能力。为了方便计算，将球型立柱简化为计算模型，视为等截面钢管立柱。简化计算模型的截面参数为球型立柱钢管截面参数。

$$I= \pi [D^4-(D-2t)^4]/64 \dots\dots\dots (B9)$$

式中：

- I—截面惯性矩，单位为四次方毫米(mm⁴)；
 D—球型立柱柱管外径，单位为毫米(mm)；
 t—球型立柱柱管壁厚，单位为毫米(mm)。

B2.3 球型立柱简化计算模型的截面抵抗矩

$$W= \pi [D^4-(D-2t)^4]/32D \dots\dots\dots (B10)$$

式中：

- W—截面模量，单位为三次方毫米(mm³)；
 D—球型立柱柱管外径，单位为毫米(mm)；
 t—球型立柱柱管壁厚，单位为毫米(mm)。

B2.4 球型立柱抗弯强度

$$\sigma =M/W \dots\dots\dots (B11)$$

式中：

- σ —球型立柱抗弯强度，单位为牛顿每平方米(N/mm²)；
 W—截面模量，单位为三次方毫米(mm³)；
 M—弯矩，单位为牛顿毫米(Nmm)。

B2.5 球型立柱抗弯强度验算

球型立柱抗弯强度满足设计要求判据

$$\sigma /f \leq 1 \dots\dots\dots (B12)$$

式中：

- σ —球型立柱抗弯强度，单位为牛顿每平方米(N/mm²)；
 f—钢材抗弯强度设计值，单位为牛顿每平方米(N/mm²)。

B2.6 球型立柱最大弯曲挠度

$$d_{\max}=Flh^3/3EI \dots\dots\dots (B13)$$

式中：

- d_{\max} —球型立柱最大弯曲挠度，单位为毫米(mm)；

- F—外加集中荷载，单位为牛顿(N)；
 h—球型立柱高度，单位为毫米(mm)；
 E—材料弹性模量，单位为牛顿每平方米(N/mm²)；
 I—截面惯性矩，单位为四次方毫米(mm⁴)。

附：球型护栏强度计算实例

BG-500-1200 球型护栏强度计算

BG-500-1200 球型护栏参数：

- 扶手钢管外径：33.5mm，壁厚 1.5mm。
 横杆钢管外径：26.8mm，壁厚 1.0mm。
 球型立柱钢管外径：42mm，壁厚 2.75mm。
 空心球外径：65mm，壁厚 3.0mm。
 球型立柱间距 L=1000mm。
 球型立柱高度 h=1230mm。
 脚掌 10x50x100mm 焊接锚固。

荷载要求：

- 扶手水平荷载 Q=1000N / m。
 球型立柱顶部的集中荷载 F=500N。

选用材料为 Q235B：

- 材料弹性模量 E=206000N/mm²。
 钢材抗弯强度设计值 f=215N/mm²。

1. BG-500-1200 护栏扶手强度计算

护栏扶手承受弯距 M

$$M=QL^2/8=125000Nmm$$

护栏扶手管截面尺寸，D=33.5mm，t=1.5mm。

扶手管截面面积

$$A=\pi [D^2-(D-2t)^2]/4=150.8mm^2$$

扶手管截面惯性矩

$$I=\pi [D^4-(D-2t)^4]/64=19344.36mm^4$$

扶手管截面模量

$$W=\pi [D^4-(D-2t)^4]/32D=1154.89mm^3$$

护栏扶手抗弯强度

$$\sigma =M/W=108.24N/mm^2$$

扶手抗弯强度验算

扶手抗弯强度满足设计要求判据 $\sigma /f \leq 1$

$$\sigma /f=0.51 < 1$$

强度验算 $\sigma /f < 1$ 满足设计要求。

护栏扶手最大弯曲挠度

$$d_{max}=5QL^4/384EI=3.27mm$$

$$L/250=4mm$$

符合最大弯曲挠度小于 L/250 的要求。

2. BG-500-1200 球型立柱强度计算

球型立柱承受的弯矩

$$M=Fl=615000\text{Nmm}$$

球型立柱简化计算模型截面惯性矩

$$I=\pi [D^4-(D-2t)^4]/64=65620.31\text{mm}^4$$

球型立柱简化计算模型截面模量

$$W=\pi [D^4-(D-2t)^4]/32D=3124.78\text{mm}^3$$

球型立柱抗弯强度

$$\sigma =M/W=196.81\text{N/mm}^2$$

$$\sigma /f=0.92<1$$

球型立柱强度验算 $\sigma /f<1$ 满足设计要求。

球型立柱最大弯曲挠度 d_{\max}

$$d_{\max}=Fl^3/3EI=22.94\text{mm}$$

$$h/50=24.6\text{mm}$$

符合最大弯曲挠度小于 $h/50$ 的要求。

3. BG-500-1200 球型立柱球接点截面积验算

空心球赤道位置截面积 A_{\max}

$$A_{\max}=\pi [D^2-(D-2t)^2]/4=584.34\text{mm}^2$$

最大开孔为扶手管接点开孔 $\leq 35\text{mm}$

空心球开孔后最小截面积 A_{\min}

$$A_{\min}=384.03\text{mm}^2$$

球型立柱管截面积 A

$$A=339.10\text{mm}^2$$

空心球开孔后最小截面积 A_{\min} 不小于球型护栏立柱管截面积 A ，符合球型立柱简化计算模型的截面设定参数。