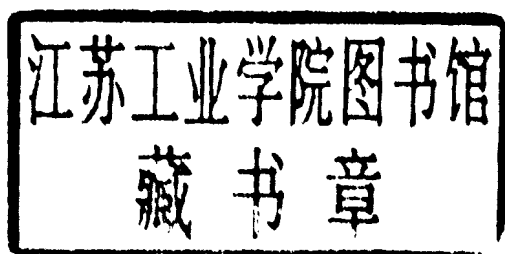


工程抗震科技资料

工程事故处理选编



中国建筑科学研究院

工程抗震研究所

工程抗震科技资料

工程事故处理选编

中国建筑科学研究院

工程抗震研究所

说 明

近几年来，随着工程建设的日益发展，适应现有的生产水平，工程质量检查日趋完善，发现了不少工程质量事故，轻则停工待查，甚者造成人员伤亡或重大经济损失。

自1983年以来，工程抗震研究所应有关单位的邀请，先后承担了一批典型或特殊工程的质量事故的调研、分析和处理。由于采用了最新技术和科研成果，保证了工程的质量与及时投入使用，大大节省了投资，减少了质量事故造成的损失，获得了显著的经济效益与社会效益。例如，某外资大型氨罐基座在事故中损坏，原计划拆除重建，加之推迟竣工，将损失数百万美元，经认真分析后，查明了质量事故的原因，采取了对症下药，又较为简便易行的加固措施，挽回了损失。

尽管事故的原因是多种多样的，部位不同，性质不尽相同，后果的严重性也各不相同，然而，工程事故的处理，均要对具体情况加以调研分析，力求在最短的时间内完成。其主要的处理方法和原则是：

1. 尽可能详细地调查事故造成的宏观破坏，掌握工程的原始设计和施工资料，必要时可辅以仪器实测，包括混凝土强度等级、钢筋位置探测和动力特性测试等。
2. 抓住主要因素，认真地查证和分析事故的原因，包括原设计中可能存在的某些问题。
3. 具体分析、正确地评价事故发生后工程结构实际的承载力和抗震能力，运用最新技术和研究成果，找出事故后工程结构在正常使用上的差距或不足。
4. 在不影响使用要求的前提下，提出恰当的建筑和结构的

目 录

大型氨罐基座损坏事件的分析和修复	1
装配框架节点质量事故的鉴定和处理	31
现浇框架柱质量事故的处理	44
现浇框架质量事故的鉴定和加固	50
墙体混凝土质量事故的鉴定和处理	61
高架候车室基础沉降分析和抗震鉴定	66

大型氨罐基座损坏事件的分析和修复*

一、前 言

某氨库主体工程是一个直径28m、总高22m、容积1万m³的大型低温常压贮罐，其地基经强夯处理，按7度抗震设防，采用钢筋混凝土板柱式基座。

该罐在注水试压过程中，罐顶壳体边缘焊缝开裂、罐体壁板局部拉破，罐底隆起，锚固件断裂或受拉屈服后遭压屈，底座板边侧在有支柱处出现水平裂缝，检查还发现支柱出现轴对称状的向外倾斜的斜裂缝。在注水过程中基础明显下沉。

此工程事故主要是试压时超过原设计的安全气压造成的。超压造成焊缝开裂，形成数千吨的上托力，使罐底锚固件破坏导致氨罐隆起，国外类似事故曾发生多起；底座在荷载作用下顶板及底板的弯曲变形促使钢筋混凝土支柱损坏并加大沉降。

本报告详细分析了底座损坏的原因，并提出确保正常生产和8度抗震设防的加固处理意见。本报告不考虑隔冷后底座顶板的温度应力。

二、工程结构概况

氨库由金属氨罐和钢筋混凝土底座组成。氨罐内径28.2m，罐体高17m，由高2.45m的7个钢板带组成，厚度由12.9mm向上

* 参加人员：魏琰、吴绮芸、韦承基、戴国堂、钱力航等，化工部翟向达副总工程师提出了宝贵意见，谨致谢忱。

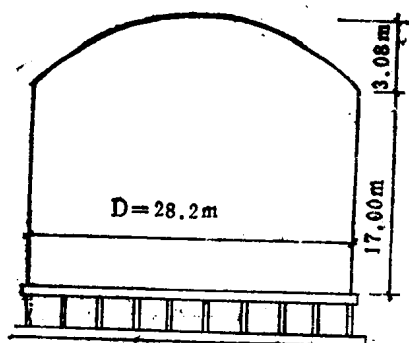


图1.1 氨库剖面

其上有厚0.15m强度0.2MPa的隔热层，隔热层上有8cm厚的保护层，双向配筋 $\phi 6-150$ ；76根预制柱净高2.25m，截面 $0.5 \times 0.5 \text{ m}^2$ ，插入顶板0.2m，柱主筋16 $\phi 25$ ，箍筋为 $\phi 6-200$ 方箍加 $\phi 6-200$ 菱形箍；底板厚0.8m，上层双向配筋 $\phi 18-150$ 下层双向配筋 $\phi 25-150$ ，座落于10cm的100号混凝土(C8)垫层上，预制柱插入深0.55mm的杯口内。

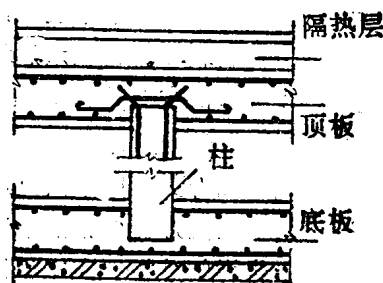


图1.2 底座构造

逐步减小至8.8mm；顶盖为球壳，矢高3.08m，厚度为6.3mm，与罐体连接处为8.3mm，并有连接角钢加劲；底板为厚7.8mm搭焊平板，边缘为9.5mm厚。

底座为无柱帽板柱式基础，200号混凝土(C18)。其顶板厚0.7m，上下双向配筋 $\phi 18-150$ ；

氨罐通过90根锚固板与底座连接，锚固板埋件的锚固强度按200kN设计。

三、事故后结构的破坏状况

氨罐采用注水试压，注水过程中曾停泵加焊锚固件，发生事故时，按注水速度看，其水位约14.75m，内压约260mmHg。事

故后基座和罐底锚固件的主要破坏是：

1. **罐底及锚固件**：根据脚手架在罐体隆起时留下的印痕，超压时罐底隆起约16cm。统计发现，90根锚固件中有38根焊缝断裂或埋件松动，有20多根在拉伸过程中焊缝断裂，尚有不足30根拉伸屈服。在壳体破坏降压后，受拉屈服的锚固件由于罐体下落而压屈，最大压屈度约16cm，（详见附件一）。从分布看，在罐底出水口（南偏西）附近的锚固板多属拉屈或拉屈过程中断裂，而直径的另一端（北偏东）则多属断裂。因此，氨罐的隆起是不大均匀的，东北侧一带较西南侧可能会大些。



图1.3 罐底锚固

2. **基础顶板及支柱**：氨罐圆周和混凝土支柱仅有8处上下直接对应，在这些位置上底座顶板侧边环梁上出现了水平裂缝，缝宽0.5mm，长度约100cm；顶板和支柱相连处在柱子四角多数出现斜向45°的细微裂缝，在西南侧由外向里第二排柱，这种裂缝贯穿了柱间。

成井字型布置的支柱，最外两排柱子均出现轴对称状的向外斜裂缝，裂缝与水平线交角在60度左右，上下两端的裂缝基本平行（见图1.4）。第3排柱子也出现了一些裂缝，但多在外侧且较细。合计有58根柱子出现不同程度的裂缝。



图1.4 支柱裂缝走向

3. **沉降及其他**：基础四周的地表土壤，在距砖围护墙约4m处出现环状裂缝。

此外,罐体上人梯当注水达 8m 左右时在地面支座上方和底座下方处均发现裂缝。

氨库基础在注水之前已经平均沉降 8cm 以上,注水前后 34 天内则平均沉降 17.7cm,其中,西北沉降少些而东南多些,差异沉降量最大达 4cm。

四、事故原因分析

1. 试压时罐内受力及锚固体破坏分析

取事故时的水位和气压做为分析依据,计算表明(详见附件二):

在 34kPa 的气压下,球壳(6.3mm 厚处)钢板的应力达 91.3 MPa,而罐体筒壁所受拉力即隆起的上托力为 21230kN,扣除球壳和筒壁自重尚有 19340kN。这些上托力若由 90 根锚固板均匀承担,则每根受拉力 215kN,已超过锚固板预埋件的设计抗拔力。由于相当一部分锚固板的焊缝(以东北侧居多)在此之前已经拉裂,各锚板的实际受力是不均匀的,部分锚板将先达到受拉极限,引起的连锁反应最终使焊缝完好的遗留的锚板全部达到受拉极限,于是罐体边缘隆起。在顶壳部分焊缝破裂之后,气压逐渐下降,隆起消失,已经拉屈的锚板压曲外鼓(个别内凹)。

当然,由于锚板焊缝强度沿周长的不均匀,东北边缘首先隆起,氢罐略有倾斜。从隆起到顶壳边缘破裂后复位的过程是一次摆动的过程,造成了一些非对称性的破坏。

2. 氨罐底座的破坏分析

在 14.7m 水位和 34kPa 的气压的共同作用下,底座顶板中部受有 181kPa 的均布荷载,而直径 $D=28.2\text{m}$ 处则受有集中拉力 218kN/m,当氨罐边缘隆起时还受有一定的弯矩。

由于底座系板柱式结构,相当于顶板和底板之间有 76 根柱支承。按照弹性地基板计算,在土壤刚度约 470kN/m^3 的情况下,

仅均布荷载一项，板中心处相对于板边的挠度可达数cm，附件一的回弹曲线也说明这种现象。

在这种变形状态下，顶板下表面拉伸，底板上表面压缩，形成了支柱的剪力，靠近底座边缘的柱剪力值很大。以平截面假定计算，当顶板中心有1cm的挠度时， $R=13.5\text{m}$ 处柱的剪力为1060kN， $R=10.5\text{m}$ 处为500kN， $R=7.5\text{m}$ 约180kN。而支柱现有配筋的抗剪强度约295kN，因此，当顶板中心有数cm的挠度时， $R\geq 10.5\text{m}$ 的柱子出现剪切斜裂缝是必然的，而 $R=7.5\text{m}$ 处，则可能接近于出现裂缝或有局部细裂缝。（详见附件三）

对氨罐试压过程中气压及水静压下罐底板的向外径向位移做了计算，其值仅0.3mm，不可能构成底座外围柱的损坏。

至于顶板预制柱四角的八字形裂缝，与板-柱连接构造有关——预制柱伸入板内，顶板底面的钢筋不能拉通，抗冲切能力稍欠，出现开裂完全是可能的（详见附件四）。而顶板侧边环梁在有支柱处的裂缝，系锚固件的预埋件受拉造成的。

3. 基础沉降分析

强夯处理的深度仅达12m，而基础直径为32m，其影响深度一般考虑和直径相当。强夯改变了土的原状结构，沉降的计算不能直接套用现行规范的方法，计算压力应取实际压力；沉降计算的系数 m ，也不能沿用现行规范根据一般建筑统计而得的数值。再计入基础底板悬挑2.25m上的土层自重，按深层土勘测资料（32号探孔）计算，可得空罐时平均沉降达8cm以上，注水14.7m则平均沉降可达27cm以上，与实测基本相符（详见附件五）。

从观测曲线（附件一）看，沉降正趋于稳定。

五、事故后底座的抗震能力和加固意见

1. 氨罐底座在8度地震下，按TJ11-78规范取结构系数

4. 总设计剪力约15000kN; 而76根柱子考虑开裂柱子的影响, 总承载力为17630kN, 从强度上看尚有一定安全度。

2. 时程分析(详见附件六)表明, 8度地震下支柱的变位角约1/172, 可产生一定损坏; 而9度地震时大于1/50, 有倒塌的可能。

3. 支柱箍筋不满足8度的构造要求, 可能发生脆性破坏, 柱头冲切抗力也不满足规范要求。

4. 正常使用下氨水反复装卸, 活荷载有75000kN的增减, 需采取适当的加固措施, 尽可能减少基座底板和顶板的变形, 避免支柱在反复受力下产生一定的损坏。

根据以上分析, 建议加固方案如下: 为力求减少底座中心相对于板边的变形, 通过增设小开洞剪力墙保证氨水反复装卸过程中各支柱不损坏, 不仅有利于氨罐本身的正常使用, 而且提高了抗震性能(附件七)。

由于基础的沉降基本上趋于稳定, 且属正常沉降范围, 可不采取地基加固措施, 但应将地表散水加宽到超过基础底板的范围, 处理好排水工作。

参 考 资 料

- [1] E、E摩吉尼格, 储罐隆起损坏的预防 1982
- [2] 潘家铮, 调压井衬砌 科技卫生出版社, 1958
- [3] 孙更生等, 软土地基与地下工程
- [4] 黄熙龄等, 地基基础的设计与计算
- [5] 魏 琰等, 建筑结构抗震变形验算, 建筑结构, 1983年, 5期

附件一： 基础破坏统计和沉降观测

1.1 锚固板破坏统计

分 区	编 号	焊 缝 破 坏			残 留 压 曲 变 形				
		断裂或松动	局部裂	完好	0	<4.5	5~7	8~11	12~16
南一西	1~22	8	8	6	8	9	5		
西一北	23~45	3	10	10	1	8	9		5
北一东	46~67	19	3		19	3			
东一南	68~90	8	3	12	8	5	3	5	2

1.2 支柱裂缝统计(附图1.1)

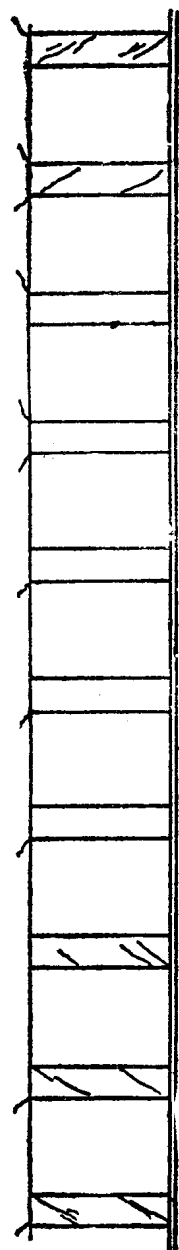
排 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
开 裂	4	6	8	6	6	5	6	7	6	4
完 好	0	0	0	4	4	5	4	1	0	0

1.3 基础平均沉降曲线

附图 1.2 给出了自6月至11月基础的平均沉降曲线

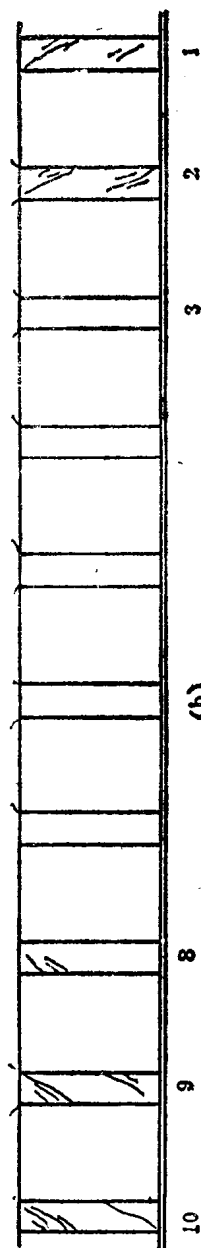
1.4 放水回弹分布曲线

附图 1.3 系放水完毕，基座顶板东西向和南北向的回弹变形分布。



(a)

西-4排

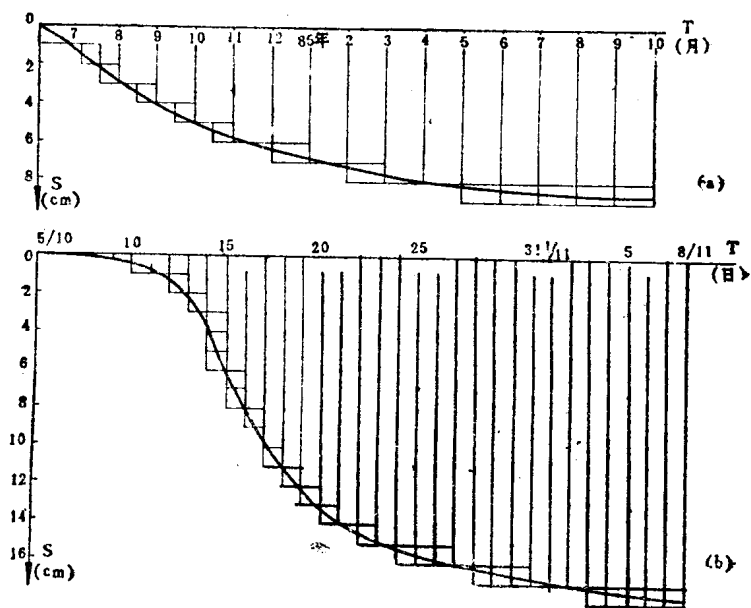


(b)

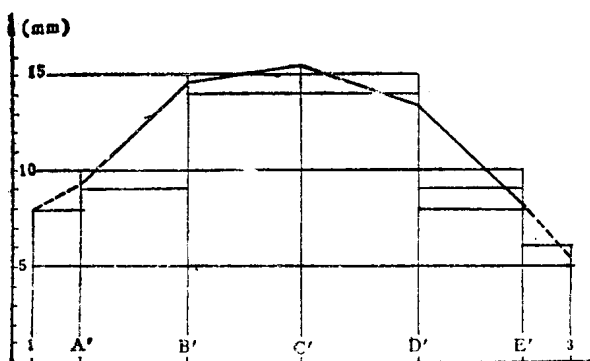
西-1排



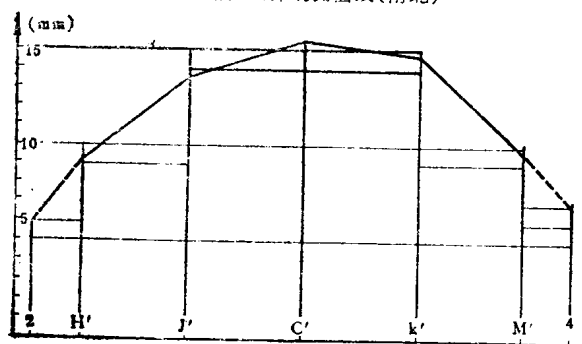
附图1.1 支柱破坏情况(裂缝图)



附图 1.2



(a) 底板回弹观测曲线(南北)



(b) 底板回弹观测曲线(东西)

附图1.3 底板回弹分布

附件二： 氨罐锚固破坏分析

2.1 罐壁受力计算

在内压 q 作用下，扣除顶壳和罐壁自重后的上托力为

$$F = \pi R^2 q - G$$

取 $R = 14.1\text{m}$ $q = 34\text{kN/m}^2$ $G = 1870\text{kN}$ ，得

$$F = 19366\text{kN}$$

2.2 锚固板强度

$[N] = 0.85 \times A \cdot f_{at}$ ，锚固板断面为 $1.1 \times 15\text{cm}^2$ ， f_{at} 按进口钢材强度计算，得 $[N] = 500\text{kN}$ 。

2.3 锚固板受力

按总数90根锚固板平均受力计算，每根拉力

$$N_0 = F/90 = 215\text{kN}$$

远小于锚固板屈服强度，但因焊缝强度不足，最终焊缝未破坏的锚固板不足30根，则每根平均拉力为

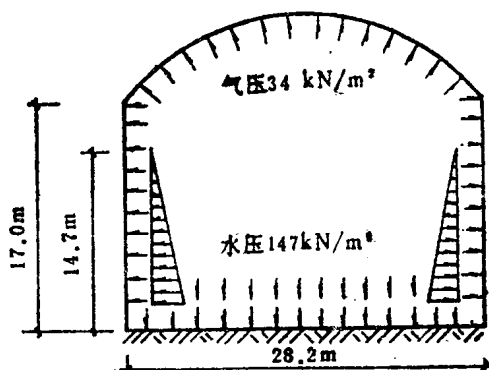
$$N_1 > F/30 = 645\text{kN}$$

已超过锚固板的屈服点。

附件三： 底座钢筋混凝土支柱裂缝分析

3.1 氨罐底板径向位移分析

氨罐内壁受力情况见附图1.4,用以下三种模型进行了计算。



附图1.4

(一)假设底板与罐壁底端为铰接，罐壁刚度参数

$$\alpha = \frac{H^2}{2Rt} = \frac{17.0^2}{2 \times 14.1 \times 0.008} = 1281 \gg 16$$

$\alpha=16$ 为可按长壳考虑的临界值，可见此罐壁在纵向极柔，由此反推按长壳计算的罐壁高度 H_x 。

$$H_x^2 = 2\alpha Rt = 16 \times 2 \times 14.1 \times 0.008 = 3.61$$

$$H_x = 1.9\text{m}$$

查有关圆壁内力计算表，可得在均匀内气压 34kN/m² 作用下，罐底无径向位移时的剪力为

$$Q_{01} = 0.068 \times 34 \times 1.9 = 4.4 (\text{kN/m})$$