

深井排水系统井筒管路托管梁力学分析

李建光

(中煤科工集团北京华宇工程有限公司,北京 100120)

摘要: 针对深井开采给井筒排水系统管路托管梁设计带来的托管梁承受载荷大、选型困难、不易安装等问题。采用理论和实际相结合的方法,以某深井副立井为例,采取措施取消了温度力载荷;研究U型管卡对托管梁载荷的分担作用;通过PROE软件,运用ANSYS对托管梁进行有限元分析,创造性地将梁的加强措施融入选型过程。从三个方面对深井排水系统井筒管路托管梁进行力学分析,在保证系统安全的基础上,达到了降低托管梁载荷的效果,托管梁的规格也随之下降。

关键词: 深井;排水系统;托管梁;力学分析

中图分类号: TD744

文献标识码: A

Mechanical Analysis of the Pipeline Beam in the Shaft of the Deep Well Drainage System

LI Jianguang

(CCTEG Beijing Huayu Engineering Co., Ltd., Beijing 100120, China,)

Abstract: Deep well mining brings a series of new problems to the design of the pipeline stinger beam of the shaft drainage system, such as the large load on the pipeline beams, the difficulty of type selection and the difficulty of installation. Taking a deep well auxiliary shaft as an example, measures were taken to cancel the temperature force load, and load sharing effect of U-shaped pipe clamp on the escrow beam was studied by combining the theory with practice. Through PROE software, the finite element analysis of the escrow beam was carried out with ANSYS, and the strengthening measures of the beam were creatively integrated into the selection process. The mechanical analysis of the pipeline beam of the deep well drainage system was carried out from three aspects. On the basis of ensuring the safety of the system, the effect of reducing the load of the pipeline beam was achieved, and the specification of the tube pipeline was also reduced.

Key words: deep well; drainage system; pipeline beam; mechanical analysis

随着我国煤炭开采强度的加大,赋存较好的煤炭资源日渐减少,深井开采成为一种趋势。深井开采为矿井各主要系统带来了一些新的难题,排水系统井筒管路力学分析问题便是其中之一。国内已有专家对深井排水管路进行过力学分析^[1]。下面从工程实践角度出发,以某矿副井为例,采用新型的设计思路对其井筒管路进行选型设计并作力学分析。本文选择的案例具有三个方面的特殊性:(1)矿井涌水量多达2 000 m³/h,排水管路规格大、数量多;

(2)存在地热灾害,水温高,温度应力大;(3)井深1 000 m,最底层托管梁受力复杂。如果设计过程中不能有效地解决上述问题,那么将会产生诸多不良效果,如:托管梁所承受载荷大大超过一般矿井,选型困难,不易加工、运输、安装。总之,无论从技术还是经济角度均不合理。解决问题的根本办法在于降低载荷,减小梁的型号。本文对深井排水系统井筒管路设计过程的托管梁进行力学分析,从而降低载荷,达到预期效果。

1 基础设计资料

井口绝对标高+1 118.300 m,管子道绝对标高+143.000 m,井筒深度近1 000 m。井筒内共安装8趟管路,包括3趟D480主排水管路,3趟D377应急排水管路,1趟D273洒水管路,1趟D245压风管路,如图1。

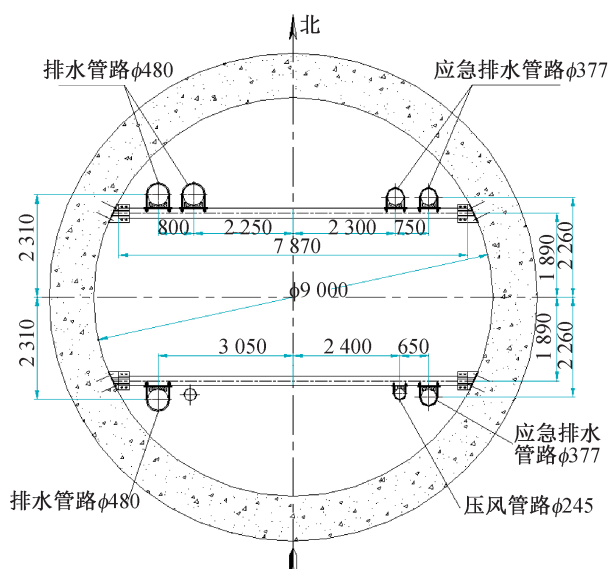


图1 副立井井筒管路布置平面图(单位:mm)

Fig.1 Auxiliary shaft pipeline layout plan

井筒内共设置10组托管梁,相邻两组托管梁间隔100 m,每组托管梁分两层布置。以最底层北侧托管梁进行受力分析,从图1中管路分布看,+155.35 m标高托管梁为最危险梁,本文仅以此梁为研究对象,其它梁可以此类推。立面图如图2。

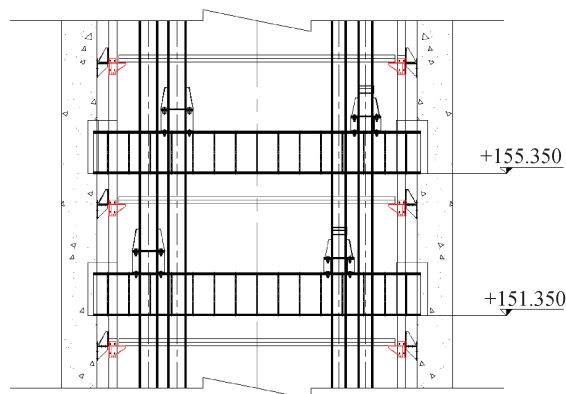


图2 最底层托管梁局部立面图(单位:m)

Fig.2 Local elevation of the bottom pipeline beam

2 力学分析

根据 GB/T 50451-2017《煤矿井下排水泵站

及排水管路设计规范》^[2],排水管路托管梁需考虑永久荷载、可变荷载以及偶然荷载。

2.1 永久荷载标准值

永久荷载标准值依据规范计算,方法明确,从算法方面降低托管梁荷载比较困难,所以设计只能从以下几个方面着手:(1)管路分段选壁厚;(2)缩小每组托管梁的间距;(3)每组托管梁上下2根布置,分别承担1趟排水管路和1趟应急排水管路;(4)托管梁材质选用Q345低合金结构钢,取代Q235碳素结构钢。

依据规范计算,D480排水管路的永久荷载标准值 $G_k = 330.24 \text{ kN}$;D377应急排水管路的永久荷载标准值 $G'_k = 207.28 \text{ kN}$ 。

2.2 可变荷载标准值

2.2.1 水柱重标准值

依据规范计算,D480排水管路水柱重 $Q_{1k} = 1606.21 \text{ kN}$;D377应急排水管路水柱重 $Q'_{1k} = 955.07 \text{ kN}$ 。

2.2.2 温度变化标准值

依据规范计算,D480排水管路温度力 $Q_{2k} = 423.31 \text{ kN}$;D377应急排水管路温度力 $Q'_{2k} = 265.71 \text{ kN}$ 。

2.2.3 温度力产生的伸缩量

$$\Delta L = \alpha \times L \times (T - T_p) = 12 \times 10^{-6} \times 100 \times 10 = 0.012 (\text{m}) \quad (1)$$

式中: ΔL ——钢管伸缩量,m; α ——钢材热伸缩系数, $12 \times 10^{-6} \text{ m}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ ^[3]; L ——管路长度,m; T ——运行温度, $^\circ\text{C}$; T_p ——安装锁定温度, $^\circ\text{C}$ 。为使运行温度更接近安装锁定温度,要求在施工的过程中对管路进行人工升温或降温,同时施工完毕后的4、5或9、10月份重新进行一次锁定,即放掉管路中的水,再放松管路管卡螺母,静置2~3 h后,重新紧固螺栓。该措施可以将温差至少控制在 10°C 以内。

设计在该管段上端安装1个伸缩器^[4],经查,伸缩器轴向限定压缩量为65 mm。可见,管路由于温度力荷载产生的伸缩量远远小于伸缩器允许的伸缩量,所以托管梁不再考虑温度力荷载。

2.3 偶然荷载标准值

水锤力可按式(2)计算^[5]:

$$\Delta H = -\frac{a}{g}(V - V_0) \quad (2)$$

式中: ΔH ——发生水锤时管中压力升高值, m;
 a ——管路中水锤波的传播速度, 取 1 000 m/s;
 V ——水流初速, m/s; V_0 ——阀门关闭后水流速度, m/s。

依据规范计算, D480 排水管路水锤压力升高值 $\Delta H = 270$ m; D377 应急排水管路水锤压力升高值 $\Delta H' = 370$ m。使用油介质的微阻缓闭止回阀可以在理论上减弱水锤, 甚至消除水锤, 止回阀需要现场整定, 阀门关闭时间为 $T \geq 2L/a = 2$ s。

按常规选型方法, 以上 3 项载荷经过组合后, 即为托管梁最终计算载荷。

2.4 降低载荷新方法力学分析

设计不满足于只取消了温度力, 下面通过对 U 型管卡的力学分析, 进一步降低托管梁载荷。在选择 U 型管卡时, 其有效直径可依据式(3)计算:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\mu \cdot \pi \cdot \sigma \cdot n}} \quad (3)$$

式中: d ——管卡螺栓的有效直径, cm; F ——所需管卡阻力, kg; μ ——管卡、管子、卡管梁之间的摩擦系数, 取 0.15; σ ——管卡螺栓轴向拉应力, 1 400~1 600 kg/cm²; n ——管卡数量, 个。

传统设计中, 我们认为管卡只起导向作用, 并

不受力。但实际情况是, 管卡阻力可以抵消一部分载荷, 这部分载荷既可以是温度力, 也可以是管重、水重, 甚至可以是水锤力^[6]。

从式(3)可以看出, 理论上, 只要管卡规格足够大, 就能够抵消相应大的载荷。实际设计过程中, 管卡规格不可能无限放大, 需考虑安装、经济等因素, 所以, 结合图集, 我们选择 D480 排水管路采用热轧圆钢 $\phi 30$, D377 应急排水管路采用热轧圆钢 $\phi 24$ 。它们分别可以抵消载荷 $F_x = 174.7$ kN 和 $F'_x = 111.8$ kN。

3 基于 ANSYS 软件的静力学分析

梁的力学分析需考虑强度、挠度及稳定性等因素。传统的托管梁受力分析无法考虑加强筋板对托管梁强度提高的促进作用, 而 ANSYS 软件却可以实现。借助该软件, 通过反复试算, 就可以有效地降低托管梁的截面。通过该方法, 我们将原截面(宽×高)从 250 mm×1 200 mm 降低为 250 mm×1 000 mm, 如图 3、图 4 所示。

下面将通过 ANSYS 软件, 验证改进后的托管梁是否满足设计要求。

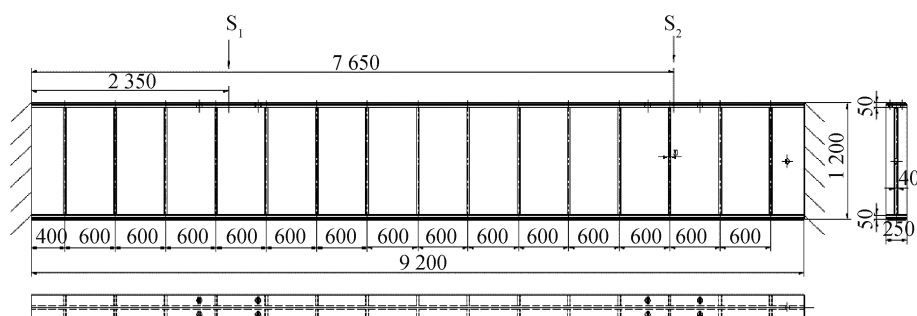


图 3 改进前最底层托管梁三视图 1(单位:mm)

Fig.3 Three views 1 of the lowest layer pipeline beam before improvement

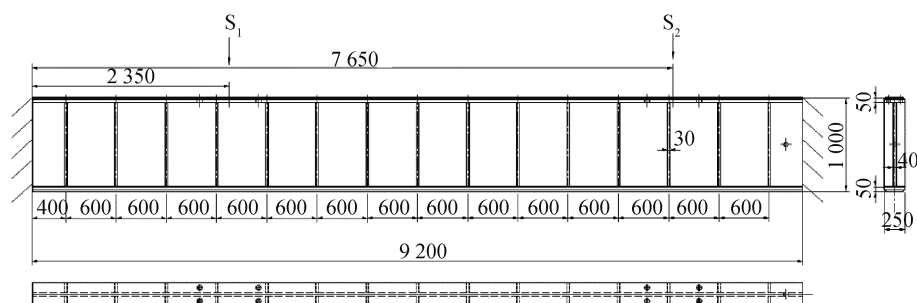


图 4 改进后最底层托管梁三视图 2(单位:mm)

Fig.4 Three views 2 of the lowest layer pipeline beam after improvement

3.1 模型的建立与网格的划分

在 PROE 建模的过程中,由于圆倒角结构影响网格划分,有必要忽略对有限元分析影响不大的结构,以简化模型。将 iges 格式的最底层托管梁导入 ANSYS 软件,托管梁采用 SOLID187 单元。合金钢弹性模量为 $2.06\times10^5\text{MPa}$,泊松比 0.28,采用自由网格划分方法划分网格。

3.2 施加荷载

将托管梁两端面自由度完全约束,位移为 0,取基本荷载组合和偶然荷载组合的最大值施加在相应位置。为便于荷载施加,可以将集中力转化为均布荷载。

3.3 求解结果分析

最大应力出现在梁的端部,应力大小为 181.96 MPa,如图 5。最大应变 99.327 mm,如图 6。最底层托管梁材料为 Q345,屈服强度 345 MPa,安全系数 $n=345/181.96=1.896>1.5$ 。

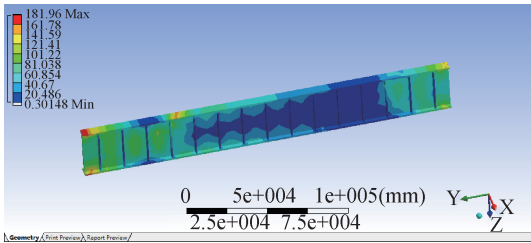


图 5 应力云图
Fig.5 Stress nephogram

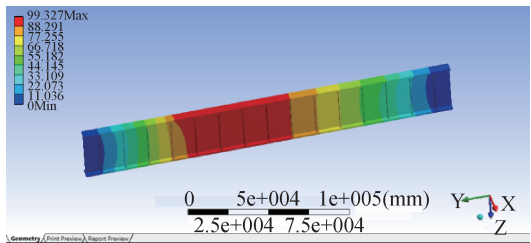


图 6 应变云图
Fig.6 Strain nephogram

可见,改进后托管梁的截面及长度选取合理。

4 选型计算结果

2 趟管路的载荷以及托管梁选型结果前后对照详见表 1、表 2。

从表中数据可以看出,载荷明显降低,托管梁的规格也有所下降,达到了预期目的。

表 1 D480 最底层排水管路荷载及托管梁选型结果对照表(单位:kN)

Tab.1 Comparison table of D480 bottom drainage pipeline load and the selection results of pipeline beam			
项目	传统计算	改进后	百分比%
永久荷载标准值 G_k/kN	330.24	330.24	100
水柱重标准值 Q_{1k}/kN	1 606.21	1 606.21	100
温度变化标准值 Q_{2k}/kN	423.31	0	—
偶然荷载标准值 A_k/kN	453.16	453.16	100
抵消荷载 F_x/kN	0.0	-174.7	—
荷载基本组合 S_1/kN	2 916.37	2 149.04	74
荷载偶然组合 S_2/kN	2 812.92	2 214.91	79
托管梁选型(宽×高)/mm	250×1 200	250×1 000	—

表 2 D377 最底层排水管路荷载及托管梁选型结果对照表(单位:kN)

Tab.2 Comparison table of D377 bottom drainage pipeline load and selection results of the pipeline beam			
项目	传统计算	改进后	百分比%
永久荷载标准值 G_k/kN	207.28	207.28	100
水柱重标准值 Q_{1k}/kN	955.07	955.07	100
温度变化标准值 Q_{2k}/kN	265.71	0	—
偶然荷载标准值 A_k/kN	374.04	374.04	100
抵消荷载 F_x/kN	0.0	-111.8	—
荷载基本组合 S_1/kN	1 766.82	1 013.3	57
荷载偶然组合 S_2/kN	1 802.06	1 424.55	79
托管梁选型(宽×高)/mm	250×1 200	250×1 000	—

5 结论

1)通过管路伸长量计算,并选取合适的伸缩器,取消温度力载荷。

2)通过 U 型管卡阻力计算,可分担部分载荷。

3)考虑加强筋板对托管梁的加强作用,通过有限元分析,降低托管梁规格。

参考文献:

[1] 马海君.超深井筒排水管路及其梁系的安全性能分析[D].邯郸:河北工程大学,2016.

[2] GB/T 50451-2017,煤矿井下排水泵站及排水管路设计规范[S].

[3] 成大先.机械设计手册:第 1 卷[M].北京:化学工业出版社,2004.

[4] 于励民,作自连.矿山固定设备选型使用手册[M].北京:煤炭工业出版社,2007.

[5] 李玉瑾,石 宁.矿井排水工程设计及相关问题分析[J].通用机械,2010(6):30-32.

[6] 李建光.煤矿立井井筒排水管路导向卡选型研究[J].河北工程大学学报:自然科学版,2019,36(2):56-59.

(责任编辑 王利君)