

ANALYSES DES SYSTÈMES DE POMPAGE ET SÉLECTION DES POMPES CENTRIFUGES

PAR
JACQUES CHAURETTE

2^e Édition
Publié par Fluide Design Inc.
www.fluidedesign.com
© Droits d'auteur 1994

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos

Introduction

Symboles

Chapitre 1 - Une introduction aux systèmes de pompage

1.0 La pression hydrostatique et la hauteur de colonne de fluide	1.1
1.1 Les trois formes d'énergie	1.2
1.2 La relation entre l'élévation, la pression et la vitesse dans un fluide	1.4
1.3 La différence entre pression et hauteur de charge	1.7
1.4 Systèmes de pompage	1.8
1.5 La force motrice du système	1.9
1.6 Les composants de la hauteur de charge totale	1.10
1.7 La basse pression	1.13
1.8 L'effet siphon	1.17
1.9 La gravité spécifique	1.22

Chapitre 2 - L'application de la thermodynamique aux systèmes de pompage

2.0 L'énergie et les propriétés thermodynamiques	2.1
2.1 Les systèmes fermés et l'énergie interne	2.3
2.2 Les systèmes fermés, l'énergie interne et le travail	2.4
2.3 Les systèmes ouverts et l'enthalpie	2.4
2.4 Les systèmes ouverts, l'enthalpie, l'énergie potentiel et cinétique.....	2.5
2.5 Le travail effectué par la pompe	2.6
2.6 Les pertes de charge dues au frottement du fluide et l'effet des équipements.....	2.7
2.7 Le volume de contrôle	2.8
2.8 La hauteur de charge totale calculée à partir de l'équilibre des énergies	2.10
2.9 L'équation de la hauteur de charge totale pour un système à une entrée et une sortie	2.11
Exemple 2.1-Calculer la hauteur de charge totale d'un système de pompage typique.....	2.14
2.10 Une méthode pour déterminer la hauteur de charge de pression à un endroit quelconque dans un système	2.18
Exemple 2.2 Calculez la hauteur de charge de pression à l'entrée de la vanne de contrôle	2.21
2.11 L'équation de la hauteur de charge totale pour un système à une entrée et deux sorties	2.26
2.12 Une méthode générale pour déterminer la hauteur de charge totale dans un système à entrées et sorties multiples	2.29
2.13 Une méthode générale pour déterminer la hauteur de charge totale dans un système avec multiples pompes, entrées et sorties.....	2.32

2.14 Une méthode générale pour déterminer la hauteur de charge de pression à n'importe quel endroit dans un système avec multiples pompes, entrées et sorties	2.34
---	------

Chapitre 3 - Les composants de la hauteur de charge totale

3.0 Les composants de la hauteur de charge totale	3.1
3.1 La hauteur statique totale	3.1
3.2 La hauteur d'aspiration statique	3.2
3.3 La hauteur de charge nette positive à l'aspiration disponible (N.P.S.H. _{disp.})	3.3
Exemple 3.1- Calculez la hauteur de charge nette positive à l'aspiration disponible.....	3.10
3.4 L'immersion de la tuyauterie d'aspiration de la pompe	3.11
3.5 La hauteur de décharge statique	3.14
Exemple 3.2 – Calculez la hauteur de charge de l'aspiration et de décharge statique.....	3.15
3.6 La différence de hauteur de charge cinétique	3.16
3.7 La différence de hauteur de charge de pression due à l'équipement	3.16
3.8 La perte de charge due au frottement dans la tuyauterie pour les fluides newtoniens.....	3.18
3.9 La perte de charge due au frottement dans les raccords de tuyauterie, la méthode K et 2K	3.21
3.10 La perte de charge due au frottement dans la tuyauterie pour les suspensions de pâte	3.25

Chapitre 4 - La sélection des pompes centrifuges et l'interprétation des courbes caractéristiques

4.0 Les classes de pompes	4.1
4.1 La charte de couverture des pompes centrifuges	4.2
4.2 Les courbes caractéristiques	4.2
4.3 La sélection du diamètre de l'impulseur	4.5
4.4 La courbe du système	4.6
4.5 Le point d'opération.....	4.7
4.6 La marge de sécurité sur la hauteur de charge totale ou le débit	4.10
4.7 L'opération de la pompe à la droite ou gauche du point de rendement maximum (P.R.M.)	4.11
4.8 La hauteur de charge à débit nul	4.14
4.9 La puissance à l'arbre de la pompe	4.15

Chapitre 5 - Mesures de pression

5.0 Les mesures pratiques	5.1
5.1 La hauteur de charge totale	5.1
5.2 La hauteur de charge nette positive à l'aspiration disponible (N.P.S.H.)	5.4
5.3 La hauteur de charge à débit nul	5.5
5.4 La différence de hauteur de charge de pression due à l'équipement	5.7

5.5 La mesure du débit	5.8
5.6 Trouvez le débit en connaissant la puissance consommée par la pompe	5.8

Lexique

Bibliographie

Appendice A

Équations utiles (système métrique et impériale)

La définition de la viscosité

Les propriétés rhéologique (comportement visqueux) des fluides

Appendice B

La technique d'itération de Newton-Raphson appliquée à l'équation de Colebrook

Appendice C

La détermination de la densité d'un coulis connaissant la concentration par volume et par poids des particules solides

Appendice D

L'utilisation des unités du système impériale

Appendice E

Facteurs de puissance et valeurs de rendement pour les moteurs à induction ABB

Avant-propos

Dans ce livre, j'ai voulu présenter l'information relative aux calculs de hauteur de charge dans les systèmes de pompage d'une façon globale, concise et logique. Il me semble que les livres de référence sur le sujet sont soit trop spécifiques ou trop détaillés et j'ai cherché le juste milieu. Un des problèmes qu'on rencontre est celui de se rappeler ou est situé l'information sur les différentes sortes de calculs. Ce livre sera votre source d'informations et votre aide-mémoire.

J'ai eu plusieurs difficultés avec la première ébauche. Mon problème était de trouver une approche originale. Plus on lit sur le sujet, plus on en apprend mais plus on est porté à copier ou paraphraser les mots des autres, ce qui résulte dans un document qui résume les idées des autres, ce que je voulais éviter. Au début, j'ai pensé que je pouvais simplement écrire ce que je connaissais sur le sujet. Je me suis posé quelques questions et j'ai rapidement découvert des lacunes sérieuses, c'était un bon point de départ. Je me suis tourné vers mes collègues; les discussions de problèmes de pompage entre ingénieurs se sont avérées une bonne source de matériel. J'ai trouvé que ma contribution ne réussissait pas toujours à convaincre et à éclaircir la discussion, encore une bonne source d'inspiration pour le livre.

J'espère avoir réussi à vous présenter un tout cohérent avec une bonne dose de théorie et de pratique sur les différents calculs associés aux systèmes de pompage et la sélection de pompes centrifuges.

Introduction

Un des buts de ce livre est d'expliquer comment on calcule la pression n'importe où dans un système. L'entrée et la sortie de la pompe sont deux endroits d'intérêt particulier. La pression produit une énergie qu'on appelle (sans trop vous surprendre) l'énergie de pression. La différence d'énergie correspondant à ces deux pressions s'appelle la différence de hauteur de charge de pression ou la hauteur de charge totale. À partir des principes de base, on développera une équation pour calculer la hauteur de charge totale d'une pompe ainsi que la hauteur de charge de pression à n'importe quel endroit dans un système. Ces méthodes pourront s'appliquer à des systèmes très complexes.

Le calcul du frottement dans les tuyaux est souvent une source de difficulté due aux grands nombres de méthodes disponibles. La méthode que je présente est celle la plus reconnue et s'applique aux fluides newtoniens (c'est à dire l'eau et beaucoup d'autres fluides) de différentes viscosités. La méthode pour le calcul de frottement des suspensions de fibres de pâte sera aussi présentée.

Les fluides traités dans ce livre appartiennent à la classe des fluides newtoniens. Les suspensions de pâte sont une classe particulière de fluide non newtoniens. Ceux-ci sont traités dans un article écrit par le professeur GG. Duffy de l'université de Nouvelle Zélande à Auckland (voir référence 2). J'offre une version condensée de cet article. En ce qui a trait aux autres fluides non newtoniens, je recommande le livre mentionné à la référence 7 qui donne un excellent traitement de ce sujet. Ces deux références traitent uniquement du calcul de perte de charge due au frottement, tous les autres concepts mentionnés dans ce livre sont applicables.

Les pompes centrifuges sont les pompes les plus répandues dans l'industrie et font l'objet de ce livre. Les informations sur les différents modèles ou matériaux disponibles, type de joints de scellement, etc. sont disponibles dans les catalogues de pompes des différents manufacturiers. Le défi de celui qui doit sélectionner une pompe est de faire un calcul exacte de la hauteur de charge totale requise pour l'application. Avec cette donnée et le débit, les manufacturiers de pompes seront très heureux de vous aider à sélectionner un modèle de pompe spécifique avec les particularités requises.

Souvent lorsqu'on approche un nouveau sujet, notre manque de familiarité nous empêche de tirer profit des idées qui nous sont transmises. Le chapitre 1 est une brève introduction aux différents concepts de base des systèmes de pompage, il vous aidera à vous tremper dans la matière avant d'entreprendre le plongeon.

Symboles

Nomenclature des variables		Système impériale (Unités FPS)	Système métrique (Unités SI)
A	surface	po ² (pouce carré)	mm ² (millimètre carré)
C _V	rapport de concentration par volume	non-dimensionnel	
C _W	rapport de concentration par poids	non-dimensionnel	
D	diamètre de tuyau	po (pouce)	mm (millimètre)
F	force	liv (livre force)	N (neuton)
f	facteur de frottement due à la tuyauterie	non-dimensionnel	
g	accélération due à la gravité: 32.17 pi/s ²	pi/s ² (pied/seconde carré)	m/s ² (millimètre/seconde carré)
<i>E</i>	énergie	BTU (British Thermal Unit)	kJ (kiloJoule)
\bar{E}	énergie spécifique	BTU/lbm	kJ/lbm
ΔE_n	variation de l'enthalpie dans le système		
H	hauteur de charge ou perte de charge	pi (pied)	m (mètre)
ΔH_P	hauteur de charge totale	Pi	m
ΔH_{DS}	hauteur de charge de décharge statique	Pi	m
ΔH_{EQ}	perte de charge due à l'équipement	Pi	m
ΔH_T	perte de charge due à la tuyauterie	Pi	m
ΔH_{SS}	hauteur de charge de l'aspiration statique	pi	m
ΔH_{TS}	hauteur de charge statique totale	pi	m
ΔH_v	hauteur de charge cinétique	pi	m
ΔEC	variation de l'énergie cinétique dans le système	Btu	kJ
L	longueur de tuyau	pi	m
m	masse	lbm (livre masse)	kg (kilogram)
M	débit massique	tn/h	t/h
ΔEP	variation de l'énergie potentielle dans le système	Btu	kJ
P	pression	psi (pound per square inch, livre par pouce carré)	kPa (kiloPascal)
P	puissance	hp (chevaux vapeurs)	W (watt)
R _e	nombre de Reynolds	non-dimensionnel	
GS	gravité spécifique	non-dimensionnel	
T	température	°F (degrés Fahrenheit)	°C (degrés Celsius)
Q	perte de chaleur	Btu	kJ

Nomenclature des variables

Système impériale

Système métrique

		(Unités FPS)	(Unités SI)
q	débit volumétrique	pi ³ /s	m ³ /s
ΔU	variation de l'énergie interne dans le système	Btu	kJ
V	volume	pi ³	m ³
v	vitesse	pi/s	m/s
W	travail	Btu	kJ
z	position verticale	pi	m
Termes grecque			
Δ	delta: la différence entre deux termes		
ε	epsilon: la rugosité des tuyaux	pi	m
ν	nu: viscosité cinématique	SSU (Seconce universel Saybolt)	cSt (centiStoke)
η	eta: rendement	non-dimensionnel	
μ	mu: viscosité dynamique		cP (centiPoise)
ρ	rho: densité	liv/pi ³	kg/m ³
γ	gamma: poids spécifique	liv/pi ³	N/m ³

Note: Un point par dessus le symbole (i.e. \dot{m} , \dot{Q} , \dot{W}) indique le taux de variation de la variable. Un terme avec des indices multiples tel que la perte de charge due à l'équipement ΔH_{EQ1-2} indique le total ou la somme de toutes les pertes entre les points 1 et 2.

FPS: Système de mesure Foot-pound-second (système impérial ou anglais) utilisé aux États-Unies et différents pays anglophone.

SI: Système internationale, le système métrique.